

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РОЗЩЕПЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ
ЛІНІЙ У ЗОВНІШНЬОМУ
МАГНІТНОМУ ПОЛІ (ЕФЕКТ
ЗЕЄМАНА)

Автор:
Холоімов Валерій

30 ноября 2021 г.

1 Опис методу

1.1 Теоритичні відомості

При розташуванні джерела світла в магнітному полі магнітні лінії зазначають розщеплення. при спостереженні перпендикулярно до напрямку поля - на три компоненти. Зміщення крайних компонент за шкалою частот:

$$\Delta\mu = \frac{e\nu_0}{4\lambda m_0} H$$

Згідно з теорією Бора, момент кількості руху електрона на стаціонарній плоскій може дорівнювати:

$$P_l = l\hbar$$

Якщо атом знаходиться у зовнішньому магнітному полі, воно викликає збурення орбіти, і вона з плоскої перетворюється на просторову. Стаціонарними будуть ті орбіти, при яких значення проекції механічного моменту P_l будуть кратними \hbar

$$P_{lH} = P_l \cos(\alpha) m_l \hbar$$

m_l - магнітне квантове число, α - кут між напрямками механічного моменту і магнітного поля. Прирівнявши, отримуємо:

$$l\hbar \cos(\alpha) = m_l \hbar, m_l = l \cos(\alpha)$$

$$\cos(\alpha) \leq 1 \rightarrow m_l = l, l-1, l-2, \dots, 0, \dots, -l$$

тобто набувати $2l-1$ різних значень. Це є просторовим квантуванням орбіти.

1.2 Магнітний момент атома

$$\nu = \nu_0 \frac{eS}{t}$$

S - площа, охоплена орбітою, t - період обертання.

Для кеплерового еліпса $S = \frac{t}{2m_0} p$

$$\vec{\nu} = \nu_0 \frac{e}{2} \vec{p}_l$$

У зовнішньому магнітному полі магнітний момент атома може розміщуватись тільки під певними кутами, які визначаються з умови

$$\cos(\alpha) = \frac{m_l}{l}$$

$$\nu_l = l \frac{\nu_0 e}{2m_0} \hbar, \nu = l\beta$$

β

- магнетрон Бора

Додаткова енергія атома в магнітному полі:

$$\Delta W = \nu_l H \cos(\vec{\nu}_l, \vec{H})$$

$$\Delta W = m_l \beta H$$

Віддаць між рівнями:

$$\delta W = \beta H$$

Правила відбору дозволяє тільки такі переходи, для яких $\Delta m_l = 0, \pm 1$

Кожна спектральна лінія розщеплюється на 3 компоненти, середня з яких поляризована лінійно $\Delta m = 0$, а крайні поляризовані по колу $\Delta m = \pm 1$ і зміщені на частоту:

$$\Delta \mu = \pm \frac{\nu_0}{4\lambda} \frac{e}{m_0} H$$

в довжинах хвиль:

$$\Delta \lambda = \pm \frac{\nu_0}{4\pi c} \frac{e}{m_0} \lambda^2 H$$

2 Практична частина

Отримані значення

delta A	delta B		delta		dn		dn
778	903		250				
821	891		333,5		0,37		0,42
786	820		317		0,37		0,39
876	932		320		0,37		0,39
792	860		348		0,39		0,42
					<dn>		<dn>
					0,38		0,41

Графік для табличних значень

$$d\nu = \frac{dn}{2t} = \frac{0.40}{2 * 0.5} = 0.40 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Delta\nu = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{e}{m_0} H$$

$$\frac{e}{m_0} = \frac{4\Delta\nu\pi}{H\mu_0} = 1,53 \cdot 10^{11}$$

Теоретичне значення

$$\frac{e}{m} = 1,78 \cdot 10^{11}$$

Відхилення

$$\epsilon = 14\%$$

3 Висновок

У ході роботи було визначення розщеплення спектральних ліній неону в магнітному полі. Отримане нами значення $\Delta\nu = 0.4 \text{ cm}^{-1}$. Для перевірки отриманого значення було проведення розрахунок питомого заряду електрона. Отримане відхилення від теоретичного значення $\epsilon = 14\%$

4 Теоретичні питання

4.1 Чим зумовлене розщеплення спектральних ліній випромінювання в магнітному полі?

Розщеплення викликано тим, що в магнітному полі проекція магнітного моменту може приймати різні значення. Через це між окремими станами атома виникає різниця енергії, тим самим змінюючи частоту випромінювання хвилі, яка залежить від різниці енергій початкового і кінцевого стану.

4.2 Квантування орбітального, спінового та повного моментів імпульсу багатоелектронного атома. Фізичний зміст квантового числа m_J .

Квантове число m_l визначає проекцію орбітального моменту на вісь. Відповідно

$$M_z = m_l \hbar$$

Можливі значення

$$m_l = l, l-1, l-2, \dots, 0, \dots, -l$$

Число m може приймати виключно цілі значення, оскільки, згідно з розв'язком рівняння Шредінгера для атому водню, квантове число m відповідає за періодичність залежності від кути ϕ у розв'язку.

За правилами квантування число можливих проекцій орбітального моменту дорівнює

$$2l + 1$$

. Аналогічно число проекцій для спінового моменту електрону

$$2s + 1$$

. В досліді Штерна і Герлана пучок атомів водню розділився на 2, відповідно отримуємо: $2s + 1 = 2 \rightarrow s = \frac{1}{2}$. Квантове число $m_s = \pm \frac{1}{2}$ визначає значення проекції спіну.

Квантове число m_J визначає проекцію повного моменту на задану вісь.

Аналогічно до повного і спінового моменту:

$$m_J = -J, -J+1, \dots, 0, \dots, J$$

4.3 Повний магнітний момент атома, його зв'язок з повним механічним моментом. Фізичний зміст магнетона Бора і множника Ланде. Гіромагнітне співвідношення.

Формула для визначення повного магнітного моменту атома:

$$\nu = \frac{\nu_0 e}{2m_0} p$$

p — Величина $\beta - l \frac{\nu_0 e}{2m_0} \hbar$ визначає можливі проекції повного моменту на задану вісь.

$$\nu_l = l\beta$$

Множник Ланде розраховується за формулою:

$$g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$

Використовується у формулі для розщеплення рівнів енергії в магнітному полі у відносних одиницях

$$\Delta W = \frac{e}{2m} g \vec{J} \vec{B}$$

У своїх дослідях Зееман вважав $L = J, S = 0$, через це у нього необхідності в множинці не виникало $g = 1$.

Гіромагнітичне відношення:

$$\nu = IS = -\frac{eS}{T}$$

$$S = T \frac{p_\phi}{2m}$$

$$\nu = -\frac{e}{2m} p_\phi = -\frac{e}{2m} M$$

$$\frac{\nu}{M} = -\frac{e}{2m}$$

Аномальне гіромагнітичне співвідношення для спіну електрону:

$$\frac{\nu_s}{M_s} = -\frac{e}{m}$$

4.4 За яких умов спостерігається простий (нормальний) ефект Зеємана? Як можна визначити, який ефект Зеємана, простий чи складний, спостерігається для даної спектральної лінії випромінювання неону?

Нормальний ефект Зеємана - спектральна лінія розщеплюється на три компоненти. Спостерігатись може у випадку, якщо множник Ланде для початкового і кінцевого терму будуть рівними

$$g_1 = g_2$$

4.5 Пояснити з точки зору класичної електродинаміки розщеплення спектральних ліній в магнітному полі.

розглянемо гармонійний осцилятор, який рухається в магнітному полі. Рівняння його руху:

$$m_e \frac{\delta v}{\delta t} = -m_e \omega_0^2 \vec{r} - e \vec{v} \vec{B}$$

Розв'язок цього рівняння дасть три можливі частоти

$$\omega = \omega_0, \omega \approx \omega_0 \pm \frac{eB}{2m_e}$$

Таким чином спектральні лінії розкладаються на 3 лінії, що описує простий ефект Зеємана. Аномальний ефект Зеємана класична електродинаміка описати не здатна.

4.6 Який ефект Зеємана, простий чи складний, буде спостерігатися для переходів між рівнями термів: а) $1D2 \rightarrow 1P1$, б) $2P3/2 \rightarrow 2S1/2$? Нарисуйте можливі переходи між рівнями.

File question6.pdf

4.7 За яких умов складний ефект Зеемана переходить в ефект Пашена-Бака? Критерій сильного поля.

Ефект Пашена-Бака - при сильних магнітних полях аномальне розщеплення Зеемана переходить в нормальне. Спостерігається за умови, о розщеплення енергій внаслідок ефекта Зеемана стає більшим за розщеплення тонкої структури термів.

З лабораторної роботи №4

$$\Delta W = B\hbar(J + 1)$$

Для розщеплення в магнітного поля

$$\Delta W = \beta H$$

Відповідно умова спостереження ефекта Пашена-Бака

$$B\hbar(J + 1) \leq \beta H$$

4.8 Поляризація спектральних компонент нормального зееманівського розщеплення при спостереженні перпендикулярно і паралельно напрямку магнітного поля.

У випадку поперечного ефекту Зеемана спостерігаються 3 спектральні лінії, що називаються π та σ . Центральна π компонента займає у спектрі те саме положення, що і спектральна лінія при $\vec{B} = 0$. Усі три компоненти поляризовані лінійно, компонента π паралельна вектору \vec{B} , σ компоненти - перпендикулярно.

При спостереженні повздовжнього ефекту Зеемана π компоненту не видно, тобто її інтенсивність $= 0$, спостерігаються лише σ компоненти, тобто компоненти з відхиленням $\Delta W = \beta H$, $\Delta\mu = \pm \frac{\mu_0}{4\lambda} \frac{e}{m_0} H$.

У цьому випадку π компонента поляризована лінійно, а σ компоненти поляризовані по колу.

4.9 Для чого у роботі використовується інтерферометр Фабрі-Перо? Як виглядав би спектр за відсутності інтерферометра?

Інтерферометр застосовується для спостереження розщеплення спектральних ліній через це, що відхилення є досить малим.

Для $\lambda = 5000\text{\AA}$, $\Delta\lambda = \pm 0.28\text{\AA}$. Через це без використання не буде помітно розщеплення при використанні виключно спектографа.

4.10 Вивести формули 9 та 10 з методички.

Ефект Зеемана отримання форму

воскресенье, 28 ноября 2021 г. 23:46

Використаємо отриману формулу

$$\Delta W = \pm \beta H$$

$$W_1 = W_0 + \beta H ; \rightarrow h\nu_1 = h\nu_0 + \beta H$$

$$W_2 = W_0 - \beta H ; \rightarrow \nu_2 = \nu_0 + \frac{\beta}{h} H$$

$$\Delta \nu = \nu_1 - \nu_0 = \frac{\beta}{h} H = \frac{e\mu_0}{2m_0h} \hbar \cdot H = \frac{e\mu_0}{4\pi m_0} H$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \rightarrow d\nu = -\frac{c}{\lambda^2} d\lambda \rightarrow \Delta \lambda = -\frac{e\mu_0}{4\pi m_0} \lambda^2 H$$

4.11 Вивести формулу для розщеплення спектральних ліній у випадку аномального ефекту Зеемана.

Файл question11.pdf